"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و چهارم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱

مقاله مروری

DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.3.1.6

کیفیت دانه برنج: ویژگی‌های مرتبط و عوامل مؤثر

Rice grain quality: related properties and effective factors

علیرضا حقیقی حسنعلیده[1] و مهرزاد اله‌قلی‌پور[2]

چکیده

حقیقی حسنعلیده، ع .ر. و م. اله‌قلی‌پور. ۱۴۰۱. کیفیت برنج: ویژگی‌های مرتبط و عوامل مؤثر. **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۴ (۳): ۲۲۰ -۱۹۶.**

برنج غذای بیش از نیمی از مردم دنیا را تأمین می‌کند. برخلاف سایر غلات که به‌صورت فرآوری شده مورد استفاده قرار می‌گیرند، برنج عمدتاً به صورت مستقیم و با حذف شلتوک و پوسته قهوه‌ای مصرف می‌شود. بدین جهت توجه به کیفیت دانه در برنج از عوامل اصلی بازارپسندی محصول محسوب می‌شود. خصوصیات کیفی دانه برنج به چهار گروه فیزیکی، شیمیایی، چشایی و ارزش غذایی تقسیم‌بندی می‌شود. خصوصیات فیزیکی مانند شکل دانه، میزان شکم‌سفیدی، شفافیت و یکنواختی دانه‌ها است. ابعاد دانه، گچی و رنگی بودن از ویژگی‌های مهمی هستند که در انتخاب مصرف‌کنندگان اثر می‌گذارند. خصوصیات کیفی دانه شامل محتوای آمیلوز ظاهری، دمای ژلاتینی شدن و قوام ژل می‌باشند. بعلاوه ویژگی‌های چسبندگی دانه‌های نشاسته نیز یک تفاوت ثانویه مهم در ارقام دارای محتوای آمیلوز مشابه محسوب می‌شوند. خصوصیات چشایی شامل عطر، نرمی بافت دانه پس از پخت، رنگ و طعم است که از ویژگی‌های مهم و مورد توجه مصرف‌کنندگان برنج است. عناصر غذایی اصلی دانه برنج شامل نشاسته، پروتئین، چربی‌ها و پلی‌ساکاریدهای غیر نشاسته‌ای هستند. دوره کلیدی شکل‌گیری خصوصیات کیفی برنج اوایل و اواسط دوره پر شدن دانه است. کیفیت پخت علاوه بر عوامل ژنتیکی، تحت تأثیر شرایط محیطی نیز قرار گرفته و ممکن است از سالی به سال دیگر و یا حتی از مزرعه‌ای به مزرعه دیگر متفاوت باشد. پیش‌بینی کیفیت دانه برنج نیاز به ارتباط اطلاعات ژنتیکی با فنوتیپ‌های با کیفیت دانه در محیط‌های مختلف دارد. با وجود ارتباط منفی بین عملکرد و کیفیت دانه در برنج، انجام تلاقی‌های هدفمند با هدف انتقال خصوصیات کیفی ارقام محلی به ارقام اصلاح شده، تولید و استفاده از ارقام متحمل به تنش‌های محیطی و روش‌های مدیریت زراعی، از جمله راهکارهای امیدبخش در بهبود خصوصیات کیفی برنج هستند.

واژه‌های کلیدی: ارزش غذایی، برنج، دمای ژلاتینی شدن، کیفیت پخت و محتوای آمیلوز

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۶   تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۵

۱- استادیار مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: haghighi.ag@gmail.com)
۲- دانشیار مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

مقدمه

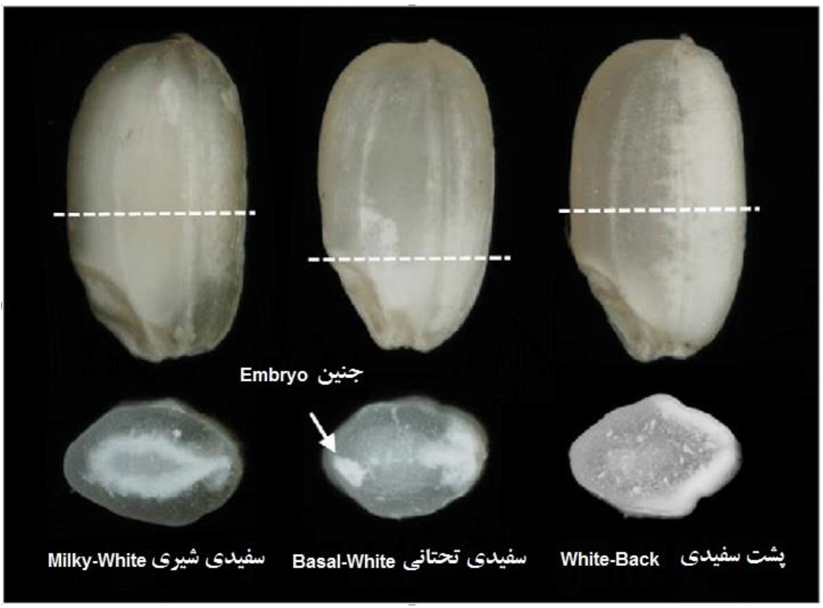
برنج پس از گندم، به‌عنوان دومین محصول راهبردی کشور و جهان، از اهمیت ویژه‌ای در تغذیه و امنیت غذایی برخوردار بوده و غذای عمده بیش از نیمی از مردم دنیا را تامین می‌کند (Shah *et al.*, 2020). بر اساس آمار سازمان خوار و بار کشاورزی، در سال ۲۰۱۹ برنج با تامین $۱/۴ \times ۱۰^{۹}$ میلیون کالری برای جمعیت جهان و ۵۰۲ کیلو کالری برای هر فرد در روز، رتبه اول را در بین غلات از نظر تامین غذای جمعیت جهان داشت (FAOSTAT, 2019). چالش فعلی برای تحقیقات برنج علاوه بر افزایش عملکرد، ارتقای ارزش غذایی آن از طریق بهبود کیفیت دانه است. کیفیت دانه یک جزء مهم در اصلاح ارقام پرمحصول برای اطمینان از پذیرش جمعیت در حال رشد مصرف‌کنندگان برنج محسوب می‌شود (Butardo *et al.*, 2019). کیفیت دانه در برنج از عوامل اصلی و تعیین کننده در بازارپسندی، بازرگانی و مصرف آن محسوب می‌شود. تجربه نشان داده است که تولید محصول با هدف افزایش کمیت بدون توجه به کیفیت آن، با عدم استقبال مصرف‌کنندگان روبرو می‌شود (Allahgholipour *et al.*, 2012). در دهه‌های گذشته، صفاتی مانند عملکرد دانه، تیپ بوته، مقاومت به آفات و بیماری‌ها و خوابیدگی بوته بیشتر مورد توجه به‌نژادگران برنج بوده است و بر این اساس ارقامی مانند خزر، سپیدرود، کادوس، درفک و گوهر در استان گیلان و ارقام ندا، نعمت، فجر، شفق و شیرودی در استان مازندران اصلاح و معرفی شده‌اند. این ارقام، علی‌رغم قابلیت پنجه‌زنی و عملکرد دانه بالا و مقاومت به بیماری بلاست، به‌دلیل پایین بودن خصوصیات کیفی در رقابت با ارقام محلی توفیق چندانی نداشته و با استقبال کم در بازار مواجه و به قیمت نازل‌تری معامله می‌شوند. درحالی که ارقام محلی با وجود عملکرد پایین، حساسیت به آفات و بیماری‌ها و خوابیدگی بوته، به‌دلیل کیفیت پخت و خوراک مطلوب، عطر و طعم مطبوع و بازارپسندی بسیار خوب، سطح زیادی از اراضی شالیکاری ایران را به خود اختصاص می‌دهند (Allahgholipour *et al.*, 2012).

کیفیت برنج یک صفت نسبی است که با توجه به سلیقه مصرف‌کنندگان تعریفی که از آن می‌شود متفاوت است و همین موضوع طبقه‌بندی کیفیت دانه را چالش برانگیز می‌کند. کیفیت دانه برنج تا حد زیادی به ویژگی‌های پخت، شکل، عطر و طعم آن بستگی دارد. این خصوصیات را می‌توان به چهار گروه فیزیکی، شیمیایی، چشایی و ارزش غذایی تقسیم‌بندی کرد. عوامل متعددی نشان دهنده کیفیت دانه برنج هستند، اما آنچه که بیشتر مد نظر است کیفیت پخت و خوراک است که تابع خصوصیات فیزیکوشیمیایی دانه و عوامل محیطی دوره رشد گیاه می‌باشد. وجود شاخص‌های مختلف ارزیابی کیفیت، سلایق متنوع مصرف‌کنندگان، پیچیدگی و تحت تأثیر محیط بودن صفت، نبود ابزار و امکانات مناسب برای ارزیابی دقیق خصوصیات مرتبط با کیفیت دانه و از همه مهم‌تر وجود ارتباط منفی بین عملکرد و کیفیت دانه، از عوامل محدودکننده و عدم موفقیت در دستیابی به ارقام پرمحصول کیفی با طول دوره رویش مناسب محسوب می‌شود (Allahgholipour and Rabiei, 2016). علی‌رغم این محدودیت‌ها، براساس راهبرد اصلاح مشارکتی، تا کنون چندین رقم جدید برنج از جمله گیلانه با میانگین عملکرد دانه ۵۰۰۰ تا ۵۵۰۰ آنام با ۵۵۰ تا ۶۰۰۰ و رقم گیلار با ۶۰۰۰ تا ۶۵۰۰ کیلوگرم در هکتار که دارای کیفیت پخت و خوراک مشابه ارقام محلی هستند، معرفی شده‌اند. این ارقام ضمن مقاومت به عارضه خوابیدگی بوته، زودرسی و بازارپسندی بالا، مورد استقبال کشاورزان قرار گرفته‌اند. معرفی این ارقام با عملکرد قابل قبول و با کیفیت پخت مطلوب، جزء اولین ارقامی هستند که رابطه بین کمیت و کیفیت آنها مناسب بوده و دلیل موفقیت آنها پذیرش و رضایت آن‌ها توسط کشاورزان در استان‌های گیلان و مازندران می‌باشد

(Allahgholipour and Hosseini Chaleshtori, 2020).

ویژگی‌های فیزیکی دانه برنج

عوامل اصلی تعیین‌کننده خصوصیات فیزیکی دانه که در میزان ارزش اقتصادی و تجارت برنج حائز اهمیت بوده و از نظر ظاهری نیز توسط مصرف‌کنندگان قابل تشخیص هستند، شامل خصوصیات فیزیکی دانه (شکل، میزان شکم‌سفیدی، شفافیت و یکنواختی، ابعاد (طول، عرض و شکل دانه)، گچی و رنگی بودن و میزان برنج سالم هستند و از ویژگی‌های مهمی هستند که در انتخاب مصرف‌کنندگان تأثیر می‌گذارند. این موارد از اولین معیارهای گزینش در برنامه‌های به‌نژادی محسوب می‌شوند. اندازه دانه (برنج سفید) در بزرگ‌ترین بعد به طول دانه بستگی دارد، در حالی‌که شکل دانه بر اساس نسبت طول به عرض آن است (Shah *et al*., 2020). طبقه‌بندی دانه‌های برنج بر اساس اندازه و شکل در کشورهای مختلف متفاوت است. طبقه‌بندی متداول که در برنامه‌های به‌نژادی مؤسسه بین‌المللی تحقیقات برنج (IRRI) برای اندازه دانه (برنج سفید) استفاده می‌شود شامل دانه کوتاه (کمتر از ۵/۵ میلی‌متر)، دانه متوسط (بین ۵/۵۱ تا ۶/۶۰ میلی‌متر)، دانه بلند (بین ۶/۶۱ تا ۷/۵۰ میلی‌متر) و دانه خیلی بلند (بیشتر از ۷/۵۰ میلی‌متر) است. شکل دانه‌های برنج بر اساس نسبت طول به عرض توصیف شده و طبقه‌بندی مورد استفاده در مؤسسه بین‌المللی تحقیقات برنج به‌صورت گرد (۲ یا کمتر از ۲) ، متوسط (بین ۲/۱ تا ۳) و قلمی (بیشتر از ۳) می‌باشد (Cruz and Khush, 2000). گچی شدن دانه‌ها که به صورت لکه‌های سفید مات در دانه دیده می‌شود، یک ویژگی نامطلوب در برنج محسوب شده و در بخش‌های پشتی، شکمی و یا در قسمت مرکزی دانه تشکیل می‌شود (شکل ۱). در دانه‌های گچی گرانول‌های نشاسته در سلول‌های آندوسپرم پیکربندی ضعیفی دارند، در حالی‌که دانه‌های دارای آندوسپرم شفاف، دارای پیکربندی قوی هستند. فضاهای خالی بین دانه‌های نشاسته باعث ایجاد بازتاب تصادفی نور و ایجاد ظاهر گچی در دانه‌ها می‌شود (Morita *et al*., 2016). طبقه‌بندی دانه‌های گچی که بر اساس نسبت بخش گچی به کل دانه انجام می‌شود شامل فاقد (صفر درصد)، کم (کمتر از ۱۰ درصد) ، متوسط (بین ۱۰ تا ۲۰ درصد) و زیاد (بیشتر از ۲۰ درصد) می‌باشند (Ikehashi and Khush, 1979).



شکل ۱- انواع دانه‌های گچی در برنج

Fig. 1. Types of chalky grains in rice (Morita *et al*., 2016)

عوامل ژنتیکی مؤثر بر ویژگی‌های فیزیکی دانه برنج

نتـایج تحقیقـات نشـان داده اسـت کـه چنـدین ژن صفات مربوط به شکل دانه را کنترل می‌کنند. بـه عنـوان مثال ژن *GS3* بر طول دانـه (Fan *et al.*, 2006)، ژن‌هـای *qSW5 / GW5 / GSE5* بر عرض دانـه (Liu *et al.*, 2017) و *GL7 / GW7* هـم بـر طـول دانـه و هـم بـر عـرض دانـه اثرگـذار هسـتند (Wang *et al.*, 2015). ربیعـی (Rabiei, 2004) به‌منظور تعیین زمینـه ژنتیکـی برنج‌هـای ایرانی، نقشه پیوستگی نشانگرهای ریزماهواره با اسـتفاده از جمعیت F_2 حاصل از تلاقی ارقام دم‌سـفید و گـرده را تهیه و برای طول، عرض و شـکل دانـه بـه ترتیـب پـنج، هفت و شش QTL مکان‌یابی نموده و نشان داد که علت وجـود همبسـتگی معنـی‌دار بـین ایـن صـفات، وجـود تعدادی از QTLهای بزرگ‌اثر دارای اثـرات پلیـوتروپی می‌باشـد. ربیعـی و همکـاران (Rabiei *et al.*, 2013) بـا تجزیهٔ ژنتیکی صفات مرتبط با کیفیت ظاهری دانه ارقام برنج گزارش دادنـد کـه سـهم واریـانس افزایشـی بـرای صفات طـول، عـرض، ضـخامت شـلتوک و شـکل دانـه بیشتر از واریانس غالبیت اسـت. آن‌هـا بیـان کردنـد کـه برای اصلاح صفات مرتبط با کیفیت ظاهری در جمعیت تحـت مطالعـه، ابتـدا می‌تـوان از روش گـزینش بـرای افـزایش ژن‌هـای مطلـوب اسـتفاده کـرد و سـپس بـرای استفاده از اثر غالبیـت ژن‌هـا از پدیـده هتـروزیس بهـره گرفت.*Chalk5* اولـین ژن شناسـایی شـده کنتـرل کننـده گچـی شـدن دانـه بـرنج اسـت کـه یـک پیـرو فسـفاتاز واکـوئلی را رمزگـذاری می‌کنـد (Shah *et al.*, 2020). باقری و همکاران (Bagheri *et al.*, 2020) بـا اسـتفاده از ۲۴ هیبرید حاصل از تلاقـی شـش لایـن در چهـار تسـتر برنج گزارش کردند که اجزای واریـانس ژنتیکـی بـرای صـفات فیزیکـی کیفیـت (میـزان بـرنج سـالم و خـرد، راندمان تبدیل شلتوک به برنج سفید، گچی شـدن دانـه، طـول، عـرض و شـکل دانـه) نشـان دهنـده سـهم بیشـتر واریانس ترکیب‌پـذیری خصوصـی نسـبت بـه واریـانس ترکیب‌پذیری عمـومی و نشـان دهنـده اثـر غیرافزایشـی ژن‌ها در کنترل و توارث این صفات است.

عوامل محیطی مؤثر بر ویژگی‌های فیزیکی دانه برنج

یکی از عوامل گچی شدن دانه بـرنج، مواجـه شـدن گیاه با تنش گرما در مرحلـه رسـیدگی محصـول اسـت. تشکیل دانه‌های گچی ناشی از قـرار گـرفتن در معـرض دمـای بـالا، بـه‌دلیل کمبـود زیرلایـه‌های نشاسـته‌ای در آندوسپرم، کاهش بیان برخی از ژن‌های مربوط به سـنتز نشاسته و افزایش بیان ژن‌های آنزیم آلفـا آمـیلاز اسـت. شفافیت ناشی از تجمع گرانول‌های نشاسـته در دانـه‌های در حال پر شـدن بـرنج از مرکـز دانـه بـه سـمت خـارج اسـت، در نتیجـه در صـورتی کـه تجمـع نشاسـته در اثـر تنش‌های محیطـی مختـل شـود، گچـی شـدن اغلـب در محـل تکامـل شـفافیت در آندوسـپرم ظـاهر می‌شـود (Morita *et al.*, 2016). گرانول‌هـای نشاسـته در نقـاط گچی در مقایسه با گرانول‌های منسـجم منـاطق شـفاف، دارای فضاهای خالی بوده، کوچک و کم حجم هسـتند و امکان شکسـتگی آنهـا در فراینـد تبـدیل بیشـتر اسـت (Fitzgerald *et al.*, 2009). افزایش دمـای شـبانه هـوا در مرحله پر شدن دانـه باعـث افـزایش میـزان گچـی شـدن دانـه‌ها می‌شـود (Cooper *et al.*, 2008) (جـدول ۱). اصلاح ارقام جدید و بهینه‌سازی روش‌هـای زراعـی کـه میزان انتقال مجدد مواد فتوسـنتزی بـه دانـه‌ها را افـزایش می‌دهد، یک راهکار مؤثر جهـت کـاهش گچـی شـدن دانه‌ها در اثر دمای بالا و تابش کم است. گـزارش شـده اسـت کـه در بـرنج متحمـل بـه گرمـا رقـم Nikomaru، انباشته شدن مقدار زیـادی کربوهیـدرات‌های ذخیـره‌ای در ساقه و انتقال آنها به دانه‌ها در مرحله پر شدن، باعـث جلوگیری از کاهش عملکرد دانه در شرایط دمای بالا و تابش کم می‌شود. علاوه بر تنش گرما، وزش باد گرم و خشک باعث افـزایش تعـرق و وقـوع تـنش خشـکی در گیاه و عقیم شدن و پوکی دانه‌ها می‌شود. به‌علاوه وزش بـاد گـرم و خشـک در مرحلـه پـر شـدن دانـه‌ها باعـث افزایش گچی شدن دانه‌ها و کاهش راندمان تبدیل آنهـا می‌شود. توصیه شده اسـت کـه بـرای اجتنـاب از اثـرات

تنش خشکی ناشی از وزش بادهای خشک، شالیزار قبل از وقوع بادهای گرم و خشک غرقاب شود تا اثر سوء تنش به حداقل ممکن برسد (Morita *et al.*, 2016).

از سایر عوامل مؤثر بر کیفیت دانه برنج، تنش خشکی است. وقوع تنش خشکی باعث افزایش میزان انتقال مجدد ذخایر کربنی به دانه‌ها و افزایش سرعت پر شدن دانه می‌شود. کمبود آب باعث کوتاه شدن دوره پر شدن دانه‌ها و کاهش وزن دانه‌ها می‌شود. اثر تنش خشکی بر کیفیت دانه برنج در ارقام مختلف متفاوت است (Pandey *et al.*, 2014). گزارش شده است که وقوع تنش خشکی در مرحله رسیدگی باعث افزایش میزان برنج سالم (Head rice) در فرآیند تبدیل می‌شود، بنابراین وقوع تنش خشکی در مرحله رسیدگی دانه، به‌دلیل کاهش میزان برنج شکسته (Broken rice) در فرآیند تبدیل، می‌تواند یک عامل مفید در نظر گرفته شود (Pandey *et al.*, 2014) (جدول ۱). اثر تنش خشکی بر کیفیت دانه برنج، به محتوای نیتروژن دانه بستگی دارد. کای و همکاران (Cai *et al.*, 2006) با ارزیابی اثر تأمین نیتروژن و تنش خشکی بر عملکرد و کیفیت دانه برنج گزارش کردند که در شرایط بهینه نیتروژنی، تنش خشکی باعث کاهش قابل توجه میزان پر شدن دانه‌ها و وزن دانه‌ها شده و در نتیجه عملکرد دانه کاهش قابل توجهی داشت. به‌علاوه میزان گچی شدن دانه‌ها نیز به طور قابل توجهی افزایش یافته و باعث افت کیفیت ظاهری دانه شد. در مقابل، در سطوح بالای نیتروژن، تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه کمتری شد، زیرا میزان پر شدن دانه‌ها و وزن دانه‌ها افزایش یافت. به‌علاوه تنش خشکی باعث کاهش میزان گچی شدن دانه‌ها و بهبود کیفیت ظاهری دانه شد (جدول ۱). اثر تنش خشکی در شرایط کمبود نیتروژن، باعث افزایش سختی و انسجام و کاهش طعم دانه‌ها شد. در مقابل، در سطح بالای نیتروژن، تنش خشکی باعث افزایش حداکثر چسبندگی، فروریختگی، چسبندگی نهایی و کاهش پس‌روی چسبندگی شد که نشان دهنده بهبود کیفیت پخت و خوراک دانه برنج است.

دانه‌های ترک خورده که به‌دلیل تنش فیزیکی در آندوسپرم در اثر تورم نابرابر ناشی از جذب آب بوجود می‌آیند، در فرایند تبدیل شلتوک به برنج سفید دچار شکستگی می‌شوند. دمای بالای هوا در اوایل مرحله رسیدگی به ویژه در طول روز، یک عامل مهم در ترک خوردگی دانه‌ها است. آبیاری مداوم با آب جاری باعث کاهش دمای آب و خاک و افزایش محتوای نیتروژن گیاه شده و به کاهش ترک خوردگی دانه‌ها کمک می کند (Takahashi *et al.*, 2002).

یکی دیگر از عوامل غیرزیستی که باعث کاهش کیفیت دانه برنج می‌شود، خوابیدگی بوته است. هوانگ و همکاران (Hwang *et al.*, 2009) با هدف تعیین اثر خوابیدگی بوته بر کیفیت دانه برنج نشان دادند که راندمان تبدیل در اثر چهار روز قرار گرفتن در معرض خوابیدگی بوته، هفت درصد کاهش یافت. هوانگ و همکاران (Hwang *et al.*, 2009) گزارش کردند که کاهش وزن هزار دانه در اثر خوابیدگی بوته عمدتاً به‌دلیل پر شدن ضعیف دانه است. دالبری و همکاران (Dulbari *et al.*, 2017)گزارش دادند که در اثر خوابیدگی بوته، واکنش‌های بیوشیمیایی جدیدی در گیاه صورت گرفته و باعث تولید ترکیبات مختلفی در ارقام مختلف برنج شد. این ترکیبات در مقایسه با بوته‌های شاهد، افزایش داشتند. این احتمال وجود دارد که تغییر کیفیت دانه برنج، ناشی از تغییرات فیزیولوژیکی مختلف باشد. واکنش گیاه برنج به خوابیدگی بوته را می‌توان با بررسی تغییراتی که در واکنش‌های بیوشیمیایی گیاه انجام شده و باعث تولید ترکیبات جدید یا افزایش محتوای ترکیبات می‌شود، ارزیابی کرد. شکستگی ساقه باعث تغییر در واکنش‌های بیوشیمیایی در هر دو بخش بالا و پایین محل شکستگی ساقه و تغییر در میزان انواع ترکیبات بیوشیمیایی مانند اسیدهای چرب، ترپن‌ها، آلکان‌ها و استروئیدها شد. در بخش‌های زیر نقطه شکستگی،

جدول ۱- عوامل محیطی مؤثر بر ویژگی‌های کیفی دانه برنج

Table 1. Environmental factors affecting the qualitative properties of rice grain

عوامل محیطی Environmental factors		ویژگی‌های کیفی Qualitative properties		منبع Reference
Heat stress at ripening stage	تنش گرما در مرحله رسیدگی	Chalkiness of grains	گچی شدن دانه‌ها	Morita *et al.*, 2016
High night temperature at grain filling stage	دمای بالای شبانه هوا در مرحله پر شدن دانه	Chalkiness of grains	گچی شدن دانه‌ها	Counce *et al.*, 2005; Cooper *et al.*, 2008
Drought stress	تنش خشکی	Increased brown rice protein, decreased amylose content, increased head rice yield	افزایش پروتئین برنج قهوه‌ای، کاهش محتوای آمیلوز، افزایش میزان برنج سالم	Pandey *et al.*, 2014
		Decreased grain chalkiness	کاهش گچی شدن دانه‌ها	Cai *et al.*, 2006
		Decreased gelatinizatione temperature and peak viscosuty	کاهش دمای ژلاتینی شدن و حداکثر ویسکوزیته	Vidal *et al.*, 2007
High day temperatures at early ripening stage	دمای بالای روزانه هوا در ابتدای مرحله رسیدگی	Cracking of grains	ترک خوردگی دانه‌ها	Takahashi *et al.*, 2002

کاهش ترکیبات اسیدهای چرب تا ۴۰ درصد و افزایش ترکیبات استروئیدی تا بیش از ۲۰۰ درصد گزارش شد.

گزارش شده است که در شرایط خوابیدگی بوته بخش‌های مختلف ساقه، تفاوت جزئی از نظر مقدار ترکیبات داشتند. این امکان وجود دارد که در بخش‌های مختلف ساقه فرایندهای فیزیولوژیکی متفاوتی انجام شود، زیرا محتوای کربوهیدرات‌های این بخش‌ها متفاوت بود (Zhang *et al.*, 2014).

کیفیت پخت برنج

ویژگی‌های نشاسته کیفیت پخت و خوراک برنج را تعیین می‌کنند. مهم‌ترین ویژگی‌های نشاسته شامل محتوای آمیلوز ظاهری (Apparent Amylose Content; AAC)، دمای ژلاتینی شدن (Gelatinization Temperature; GT) و قوام ژل (Gel Consistency; GC) هستند. اصطلاح محتوای آمیلوز ظاهری که توسط تاکدا و همکاران (Takeda *et al.*, 1987) ابداع شد. آن‌ها نشان دادند که محتوای آمیلوز واقعی نشاسته برنج ۱۸ تا ۲۱ درصد است، اما در برنج‌های با آمیلوز بالا، آمیلوپکتین میل ترکیبی بالایی با یُد داشت. با توجه به اینکه رفتار این گروه از آمیلوپکتین‌ها در منحنی چسبندگی و بافت برنج پخته مشابه آمیلوز است، رنگ آبی حاصل از ترکیب آنها با ید در طول موج ۶۲۰ نانومتر، محتوای آمیلوز ظاهری نامیده می‌شود. بطور کلی ارقام برنج با محتوای آمیلوز ۲۵-۲۰ درصد، دمای ژلاتینی شدن ۵-۳ و قوام ژل ۶۰-۴۰ درصد، دارای کیفیت پخت مطلوبی هستند (Allahgholipour *et al.*, 2010). اصلاح ارقام با کیفیت پخت بالا، یکی از موضوعات مهم در برنامه‌های بهنژادی برنج در ایران به شمار می‌رود.

دوره کلیدی شکل‌گیری کیفیت پخت برنج، اوایل و اواسط دوره پر شدن دانه است (Gilbert *et al.*, 2013). نشاسته ماده غذایی اصلی دانه برنج است که از دو پلیمر گلوکزی آمیلوز و آمیلوپکتین تشکیل شده است. آمیلوز یک مولکول متشکل از واحدهای گلوکز است که توسط پیوندهای گلیکوزیدی آلفا ۱ و ۴ به یکدیگر متصل شده‌اند. آمیلوز به‌صورت زنجیره بدون انشعاب، محلول در آب و قابل آبکافت شدن (هیدرولیز) به گلوکز و مالتوز است. آمیلوپکتین یک مولکول انشعاب‌دار گلوکزی است که توسط پیوندهای گلیکوزیدی آلفا ۱ و ۶ به یکدیگر متصل شده‌اند. آمیلوپکتین در آب نامحلول است. آمیلوز و آمیلوپکتین از عوامل تعیین‌کننده کیفیت پخت و خوراک برنج محسوب می‌شوند (Gilbert *et al.*, 2013). بطور کلی یک تا ۳۶ درصد نشاسته اندوخته شده در دانه برنج از آمیلوز و بقیه از آمیلوپکتین تشکیل شده است. اگرچه آمیلوپکتین ۶۴ تا ۹۹ درصد از نشاسته درون دانه برنج را تشکیل می‌دهد، اما نقش آن در کیفیت دانه به‌خوبی روشن نیست و نسبت آمیلوز به آمیلوپکتین و در اغلب موارد فقط محتویات آمیلوز به‌عنوان مهم‌ترین شاخص‌های فرآیند پخت مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. در روند تجمع نشاسته در دانه برنج، بیش از ۳۰ آنزیم در متابولیسم کربوهیدرات‌ها طی تکامل آندوسپرم نقش دارند. در این میان، پنج آنزیم نقش مهم‌تری دارند که عبارتند از (Chen and Bao, 2017): ADP-Glucose Pyrophosphorylase (AGPase)، Granule-Bound Starch Synthetase (GBSS)، Soluble Starch Synthase (SSS)، Stasch Branching Enzyme (SBE) و Starch Debranching Enzyme (DBE).

کارکرد اصلی AGPase این است که هگزوزها را که پس از تجزیه ساکارز تشکیل شده‌اند، به گلوکز آدنوزین دی‌فسفات (ADPG) که ماده اولیه ساخته شدن نشاسته است، تبدیل می‌کند. این واکنش اولین و یکی از مهم‌ترین مراحل ساخته شدن نشاسته است (Tuncel *et al.*, 2014). افزایش فعالیت AGPase با افزایش ساخته شدن نشاسته، باعث افزایش وزن دانه می‌شود (Tuncel and Okita, 2013). آنزیم GBSS مسئول ساخته شدن آمیلوز و آنزیم SSS مسئول ساخته

شدن آمیلوپکتین هستند. آنزیم SBE باعث تشکیل پیوند گلیکوزیدی آلفا ۱ و ۶ شده و آنزیم DBE این پیوندها را تجزیه می‌کند (Jeon *et al.*, 2010). فعالیت این آنزیم‌ها با تجمع نشاسته، آمیلوز و آمیلوپکتین در آندوسپرم برنج ارتباط نزدیک دارد.

یکی از روش‌های پیشرفته برای تعیین میزان آمیلوز، استفاده از فناوری سنجش غیرمستقیم است. ژی و همکاران (Xie *et al.*, 2019) گزارش دادند که با استفاده از فناوری سنجش از دور فوق طیفی (Hyper-spectral remote sensing)، محتوای آمیلوز دانه برنج قابل پیش‌بینی است (Xie *et al.*, 2019). آمیلوز عامل پیش‌بینی کننده غیرمستقیم کیفیت پخت و کیفیت حسی نیز در نظر گرفته می‌شود (Juliano and Tuano, 2019). روش اتصال به یُد که برای اندازه‌گیری محتوای آمیلوز دانه استفاده می‌شود، علاوه بر محتوای آمیلوز "واقعی"، میزان آمیلوپکتین را نیز تعیین می‌کند (Juliano, 1971). از این رو، آمیلوز به‌عنوان محتوای آمیلوز ظاهری شناخته می‌شود. محتوای آمیلوز ظاهری ارتباط مستقیمی با جذب آب، انبساط حجمی، پف کردن و سختی دانه برنج ارتباط مستقیم و با انسجام، لطافت، چسبندگی و براقیت دانه پخته شده ارتباط معکوس دارد. دانه برنج بر اساس محتوای آمیلوز به مومی (صفر تا دو درصد) ، بسیار کم (۳-۹ درصد) ، کم (۱۹-۱۰ درصد)، متوسط (۲۰-۲۵ درصد) و زیاد (بیشتر از ۲۵ درصد) تقسیم‌بندی می‌شود (Shah *et al.*, 2020). روش اتصال به یُد که با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر انجام می‌شود، با وجود تخمین بیش از حد واقعی آمیلوز و سایر محدودیت‌ها، کماکان برای تعیین محتوای آمیلوز ظاهری دانه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

از روش طیف سنجی نشاسته-ید نیز برای تعیین محتوای آمیلوز دانه برنج و سایر محصولات استفاده می‌شود. این روش ابتدا برای ارزیابی کیفیت نشاسته سیب‌زمینی پیشنهاد شده و پس از اصلاحاتی در دانه برنج نیز مورد استفاده قرار گرفت (Fitzgerald *et al.*, 2009). روش‌های دیگری مانند تیتراسیون آمپرومتریک (BeMiller, 1964). انعکاس مادون قرمز نزدیک (Near Infra-Red Spectroscopy) (Delwiche *et al.*, 1995) و واکنش زنجیره‌ای پلیمراز (Bergman *et al.*, 2001) نیز برای تعیین میزان آمیلوز در نشاسته دانه برنج پیشنهاد شده است (جدول ۲). اکثر این روش‌ها وقت‌گیر بوده و یا به تجهیزات گران‌قیمت نیاز دارند. باتی و کرتین (Batey and Curtin, 1996) نیز یک روش با استفاده از کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا را پیشنهاد کردند. روش انعکاس مادون قرمز نزدیک در مقایسه با روش‌های تخریبی دارای مزایایی از جمله آماده‌سازی ساده و سریع، امکان تجزیه در محل و اندازه‌گیری‌های چند جزئی همزمان، استفاده مجدد از نمونه‌ها پس از آزمایش و عدم آلودگی زیست محیطی است. فاضلی بورستان و همکاران (Fazeli Burestan *et al.*, 2019) برای اولین بار در ایران با استفاده از روش انعکاس مادون قرمز نزدیک، بدون تخریب دانه برنج، خواص کیفی آن را بررسی نموده و نشان دادند که استفاده از این فناوری می‌تواند به پیش‌بینی سریع خواص کیفی برنج کمک کند.

به طور کلی، محتوای آمیلوز ظاهری به کیفیت حسی برنج پخته شده مربوط است، با این حال ارقام مختلف برنج که محتوای آمیلوز ظاهری یکسانی دارند، از نظر سختی بافت برنج پخته شده متفاوت هستند. برای شناسایی این تفاوت‌ها، از یک آزمون مکمل به نام قوام ژل (GC) استفاده می‌شود (Cagampang *et al.*, 1973). این شاخص که تکمیل‌کننده آزمون تعیین آمیلوز است، مبتنی بر اندازه‌گیری قوام برنج سفید در محلول پتاس ۰/۲ نرمال می‌باشد. قوام ژل بر اساس میزان حرکت ژل برنج پخته است. قوام ژل با تعیین طول حرکت ژل در صفحه افقی در مدت نیم تا یک ساعت تعیین می‌شود. در نمونه‌هایی با آمیلوز مشابه مقادیر متفاوتی از قوام ژل

جدول ۲- روش‌های ارزیابی شاخص‌های کیفی در دانه برنج

Table 2. Methods for assessment of qualitative properties of rice grain

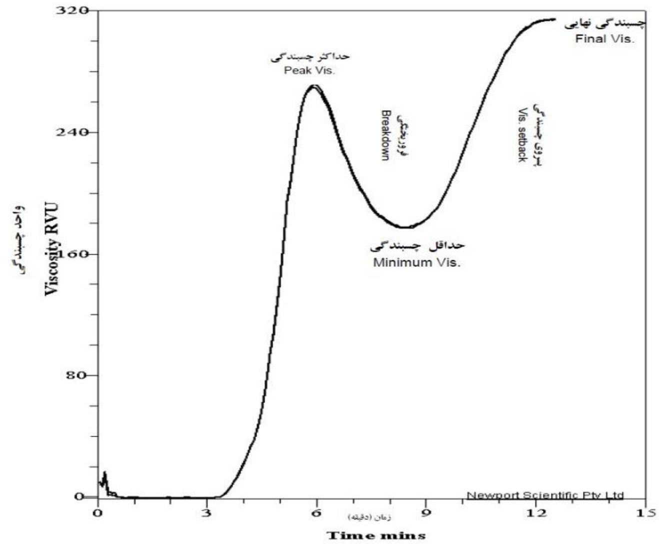
Qualitative properties	ویژگی‌های کیفی	Evaluation methods	روش‌های ارزیابی	منبع Reference
Amylose content	محتوای آمیلوز	Hyper-spectral remote sensing	سنجش از دور فوق طیفی	Xie *et al.*, 2019
		Near infrared reflectance spectrophotometry	انعکاس مادون قرمز نزدیک	Delwiche *et al.*, 1995
		Amperometric titration	تیتراسیون آمپومتریک	BeMiller, 1964
		Polymerase chain reaction	واکنش زنجیره‌ای پلیمراز	Bergman *et al.*, 2001
Gelatinization temperature	دمای ژلاتینی شدن	Differential scanning calorimetry	رنگ‌سنجی پویش افتراقی	Normand and Marshall, 1988
		Alkali spreading value	ارزش هضم قلیایی	Habibi, 2013

مشاهده می‌شود. قوام ژل در برنج‌هایی با محتوای آمیلوز کمتر از ۲۴ درصد، معمولا نرم یا متوسط هستند. اکثر مصرف‌کنندگان برنج ایرانی، ارقامی با قوام ژل متوسط را می‌پسندند. بر اساس آزمون قوام ژل، برنج‌ها به سه گروه قوام ژل سخت با طول حرکت ژل ۴۲ میلی‌متر یا کمتر، قوام ژل متوسط با طول حرکت ژل ۴۱ تا ۶۲ میلی‌متر و قوام ژل نرم با طول حرکت ژل بیشتر از ۶۱ میلی‌متر تقسیم می‌شوند (Habibi, 2013).

دمای ژلاتینی شدن یک ویژگی مهم برای تعیین زمان پخت و بافت دانه برنج می‌باشد. مقدار درجه حرارت لازم برای متورم شدن برگشت‌ناپذیر گرانول‌های نشاسته، درجه حرارت ژلاتینی شدن نامیده می‌شود که دامنه آن از ۵۵ تا ۷۹ درجه سانتی‌گراد است (Habibi, 2013). درجه حرارتی که نشاسته ژلاتینی می‌شود، یک شاخص مهم تعیین کیفیت دانه برنج است که با مدت زمان پخت و بافت برنج پخته شده ارتباط دارد. در برنامه‌های به‌نژادی برنج، این شاخص معمولا با آزمون ارزش هضم قلیایی (Alkali spreading value: ASV) تعیین شده و به صورت نمره نشان داده می‌شود (Habibi, 2013).

در ایران برای بررسی کیفیت پخت دانه ارقام برنج از سه شاخص مهم تعیین‌کننده میزان آمیلوز، درجه حرارت ژلاتینی شدن و میزان ثبات یا قوام ژل استفاده می‌شود و ارقامی که دامنه متوسطی از هر سه ویژگی را داشته باشند، به عنوان ارقام با کیفیت پخت مطلوب شناخته می‌شوند. در همین رابطه ارقام اصلاح شده خزر، درفک، کادوس و برنج هیبرید با نام تجاری بهار ۱ از نظر این سه ویژگی مشابه ارقام محلی هستند، اما کیفیت پخت آن‌ها بسیار پایین‌تر از ارقام محلی است. این موضوع در ارقام محلی نیز دیده می‌شود. ارقامی مانند هاشمی، حسن سرایی، غریب، سالاری، بینام و دمسیاه با وجود مشابه بودن دامنه شاخص‌های پخت، از نظر کیفیت پخت کاملاً متفاوت هستند، بنابراین این شاخص‌ها به تنهایی نمی‌توانند نشان‌دهنده کیفیت پخت ارقام برنج باشند (Allahgholipour *et al.*, 2006). بسیاری از ارقام برنج که دارای میزان آمیلوز مشابهی هستند، از نظر ویژگی‌های چسبندگی گرانول‌های نشاسته خصوصیات متفاوتی دارند. ویژگی‌های چسبندگی دانه‌های نشاسته با استفاده از دستگاه رپید ویسکو آنالایزر اندازه‌گیری شده و نقش مهمی در تعیین کیفیت پخت و خوراک برنج دارند (Wang *et al.*, 2007). ویژگی‌های مهم مرتبط با چسبندگی شامل حداکثر چسبندگی، فروریختگی، چسبندگی نهایی و پس‌روی چسبندگی هستند که توصیف‌کننده منحنی درجه حرارت ژلاتینی شدن در زمان پختن هستند. با استفاده از افزایش و سپس کاهش دمای نمونه‌ها و بررسی واکنش آن‌ها به تغییرات دمایی، منحنی چسبندگی بدست می‌آید (شکل ۲). در این منحنی حداکثر چسبندگی نشان دهنده حداکثر قدرت جذب آب توسط دانه‌های نشاسته در درجه حرارت ثابت و مشابه است. با کاهش درجه حرارت و سرد شدن نمونه‌ها، دانه‌های نشاسته متورم شده و به قطعات کوچک‌تری تبدیل می‌شوند تا اینکه به حداقل چسبندگی می‌رسند. چسبندگی نهایی، نشان دهنده متورم شدن مجدد دانه‌های نشاسته طی فرآیند سرد و گرم کردن نمونه‌ها است. هرچه میزان آمیلوز دانه بیشتر باشد، مقدار چسبندگی نهایی بیشتر و دانه‌ها پس از پخت خشک و سفت می‌شوند. درمقابل در صورت کم بودن میزان آمیلوز، مقدار چسبندگی نهایی به حداقل رسیده و دانه‌ها پس از پخت نرم و چسبنده می‌شوند (Allahgholipour *et al.*, 2010).

در همین رابطه اله‌قلی‌پور و همکاران (Allahgholipour *et al.*, 2010) ویژگی‌های چسبندگی ارقام برنج ایرانی را ارزیابی کردند و گزارش کردند که این خصوصیات به عنوان شاخص گزینش برای کیفیت برنج در جمعیت‌های اصلاحی قابل استفاده هستند (جدول ۳).



شکل ۲- منحنی ویژگی‌های چسبندگی نشاسته دانه برنج

Fig. 2. Pasting properties curve of rice grain starch (Allahgholipour *et al.*, 2010)

جدول ۳- حدود اطمینان ۹۵ درصد ویژگی‌های چسبندگی نشاسته در ارقام محلی برنج ایران

Table 3. Confidence interval of paste viscosity properties in local Iranian rice cultivars (Allahgholipour *et al.*, 2010)

Starch viscosity properties	خصوصیات چسبندگی نشاسته	حدود اطمینان ۹۵ درصد Confidence interval (95%)
Peak viscosity (PV)	حداکثر چسبندگی	258.0 – 297.6
Minimum viscosity (MV)	حداقل چسبندگی	170.7 – 214.9
Breakdown (BD)	فروریختگی	78.0 – 105.2
Final viscosity (FV)	چسبندگی نهایی	278.1 – 333.5
Setback (SB)	پس‌روی چسبندگی	106.2 – 138.8
Peak time (PT)	مدت زمان لازم برای به حداکثر رسیدن چسبندگی	5.81 – 6.12
Pasting temperature (PT)	درجه حرارت چسبندگی	94.6 – 99.0

تحلیل ساختار ژنتیکی عوامل مؤثر بر کیفیت دانه برنج

نتایج مطالعات ژنتیکی کلاسیک نشان داده است که محتوای آمیلوز دانه برنج توسط یک ژن اصلی با چندین تنظیم‌کننده کنترل می‌شود. در والدین غیرمومی (واکسی)، آمیلوز زیاد نسبت به آمیلوز کم یا متوسط، کاملاً غالب و آمیلوز متوسط نسبت به آمیلوز کم غالب است (Kumar and Khush, 1987). با ظهور فناوری نشانگرهای مولکولی، شناخت پیچیدگی‌های ژنتیکی آسان شده است. گزارش شده است که محتوای آمیلوز دانه توسط مکان ژنی مومی (*Wx*) در کروموزوم ۶ برنج کنترل می‌شود که آنزیم Granule-Bound Starch Synthase (GBSS) را کد می‌کند (Smith *et al.*, 1997). سه آلل در ژن *waxy* شامل *Wx*، Wx^a و Wx^b شناخته شده‌اند. یک چندشکلی تک نوکلئوتیدی (SNP) در محل ویرایش اینترون ۱، انواع کم آمیلوز را از انواع متوسط و زیاد متمایز می‌کند. این SNP به‌ترتیب آلل‌های Wx^a و Wx^b را برای آمیلوز کم و زیاد شناسایی می‌کند (Isshiki *et al.*, 1998). گزارش شده است که یک SNP در اگزون در آلل Wx^{in}، باعث جایگزینی اسید آمینه سرین توسط تیروزین شده و انواع آمیلوز بالا

و آمیلوز متوسط را متمایز می‌کند (Chen *et al.*, 2008).

بر اساس اطلاعات بدست آمده از پایگاه اطلاعاتی گرامینه (http://www.gramene.org)، ۵۱ QTL برای محتوای آمیلوز، ۲۲ QTL برای قوام ژل روی کروموزوم‌های ۱، ۲، ۶، ۷ و ۲۰ QTL برای درجه حرارت ژلاتینی شدن روی هر ۱۲ کروموزوم برنج، به استثنای کروموزوم‌های ۳ و ۴، شناسایی شده‌اند. دوازده QTL برای طویل شدن دانه (ری آمدن) روی کروموزوم‌های ۱، ۲، ۳، ۶، ۹ و ۱۱ و پنج QTL برای ویسکوزیته روی کروموزوم‌های ۱، ۳ و ۶ در ارقام برنج گزارش شده است (Bazrkar-Khatibani *et al.*, 2019). عبادی و همکاران (Ebadi *et al.*, 2012) به منظور مکان‌یابی QTLهای مرتبط با ویژگی‌های پخت و خوراک در ۱۴۴ لاین نوترکیب خویش آمیختهٔ حاصل از تلاقی دو رقم برنج هاشمی/ نعمت از نشانگر ریزماهواره استفاده کردند. در این پژوهش چندین خوشه ژنی که هر کدام از آنها چند صفت را کنترل می‌کنند، شناسایی شدند. به‌طور خاص یک خوشه ژنی در نزدیکی جایگاه ژن آلکالین روی کروموزوم ۶ که صفات درجه حرارت ژلاتینی شدن، چسبندگی نهایی، قوام و پس‌روی چسبندگی را کنترل می‌کند، شناسایی شد. اغلب این QTLها بزرگ اثر بودند. یک خوشه ژنی مهم دیگر در مکان ژنی واکسی روی کروموزوم ۶ شناسایی شد که محتوای آمیلوز، حداقل چسبندگی و فروریختگی چسبندگی را کنترل می‌کند. این QTLها نیز بزرگ‌اثر بودند. نتایج این تحقیق نشان داد که برخی از ویژگی‌های مربوط به کیفیت پخت و خوراک دانه برنج توسط دو ناحیه ژن واکسی و آلکالین روی کروموزوم ۶ کنترل می شوند.

طویل شدن دانه برنج (ری آمدن) در هنگام پخت، یک ویژگی مهم است که تحت تأثیر محیط و انبارمانی قرار می‌گیرد. علی‌رغم اهمیت ری آمدن، گزارش‌های چندانی درباره نحوه وراثت آن در دسترس نیست. شریفی و همکاران (Sharifi *et al.*, 2010) با استفاده از یک تلاقی دای‌آلل کامل با هفت والد گزارش کردند که برای محتوای آمیلوز و قوام ژل، هر دو اثر افزایشی و غالبیت و برای دمای ژلاتینی شدن و ری آمدن، اثر افزایشی دارای اهمیت بودند. نتایج بدست آمده حاکی از کنترل افزایش محتوای آمیلوز و دمای ژلاتینی شدن و کاهش قوام ژل توسط آلل‌های غالب بود، درحالی‌که کاهش میزان ری آمدن توسط آلل‌های مغلوب کنترل می‌شد.

اثر عوامل محیطی بر کیفیت دانه برنج

نتایج تحقیقات نشان داده است که مدیریت تولید و وقوع تنش‌های غیرزنده روی فعالیت آنزیم‌ها اثرگذار بوده و نتیجه آن تغییر در میزان نشاسته، دانه برنج و آمیلوز و آمیلوپکتین آن می‌باشد (Cheng *et al.*, 2019). گزارش شده است که فعالیت‌های آنزیمی از مرحله خوشه‌دهی تا رسیدگی نسبت به دمای محیط بسیار حساس هستند (Cao *et al.*, 2015). افزایش دمای ناشی تغییرات آب و هوایی جهانی بر فعالیت آنزیمی گیاه و محتوای نشاسته دانه اثر می‌گذارد (Sacks *et al.*, 2010). چنگ و همکاران (Cheng *et al.*, 2019) گزارش دادند که دمای بالای روزانه هوا (۳۱ درجه سانتی‌گراد)، متوسط (۲۶ درجه سانتی‌گراد) و کم (۲۱ درجه سانتی‌گراد)، روی ساخته شدن نشاسته و تجمع آن در دانه اثر قابل توجهی دارند. ژیا و همکاران (Xia *et al.*, 2016) گزارش دادند که دمای پایین در طول مرحله پر شدن دانه برنج فعالیت آنزیم‌های SSS و SBE را کاهش می‌دهد. گزارش شده است که محتوای آمیلوز دانه در ارقام دانه بلند برنج در دماهای پایین در مقایسه با دمای بالا، بطور قابل توجهی بیشتری بود (Aboubacar *et al.*, 2006). محتوای پروتئین دانه برنج با افزایش دمای هوا یا دمای آب، افزایش می‌یابد، اما دمای پایین آب یا سایه در مرحله رسیدگی، باعث کاهش پروتئین دانه می‌شود (Honjyo, 2008). به گزارش لین و همکاران (Lin *et al.*, 2010) دمای بالای هوا باعث افزایش رونویسی ژن‌های گلوتلین، پرولامین،

گلوبولین و ایزومراز پروتئین دی‌سولفید در اوایل مرحله پر شدن دانه می‌شود، امّا در مراحل بعدی باعث کاهش بیان این ژن‌ها می‌شود. اگرچه تغییر در تجمع نشاسته در پاسخ به دمای محیط در مرحله پر شدن دانه در تحقیقات متعددی مورد بررسی قرار گرفته است، اما نتایج آن‌ها یکسان نبوده است. اکثر این تحقیقات در شرایط گلخانه انجام شده است و تطابق نتایج آنها با ارزیابی‌های دراز مدت مزرعه‌ای بعید است. تنش خشکی باعث کاهش دمای ژلاتینی شدن و حداکثر ویسکوزیته دانه‌های برنج می‌شود. با توجه به اینکه بین دمای ژلاتینی شدن و زمان پخت همبستگی مثبت وجود دارد (Vidal *et al.*, 2007)، وقوع تنش خشکی در مرحله رسیدگی باعث کوتاه‌تر شدن زمان پخت دانه می‌شود (Pandey *et al.*, 2014). دالباری و همکاران (Dulbari *et al.*, 2017) گزارش دادند که خوابیدگی بوته باعث تغییر در ترکیبات بیوشیمیایی در ساقه دو رقم برنج شد. این تغییرات عمدتاً مربوط به اسیدهای چرب، ترپن‌ها، آلکان‌ها و استروئیدها، هم از نظر کمیت و هم از نظر تعداد ترکیبات، بود. نتایج یک آزمایش درباره مقایسه اثر خوابیدگی بوته روی دو رقم برنج نشان داد که در رقم IR64 در قسمت پایین محل شکستگی (حدود ده سانتی‌متر بالاتر از سطح زمین)، میزان اسیدهای چرب ۴۳ درصد نسبت به شاهد کمتر بود، در حالی که در بالای محل شکستگی محتوای اسیدهای چرب ۱/۷ درصد بیشتر بود. ترکیبات استروئیدی در زیر محل شکستگی ۲۴۵ درصد افزایش داشته و در بالای محل شکستگی ۱۳۲ درصد نسبت به شاهد افزایش داشتند. در رقم HIPA8 که دچار خوابیدگی بوته شده بود، کل ترکیبات در پایین و بالای محل شکستگی ساقه به ترتیب ۳۶ و ۷۲ درصد نسبت به شاهد کمتر بودند. لانگ و همکاران (Lang *et al.*, 2012) گزارش کردند که در وقوع خوابیدگی بوته باعث افزایش محتوای پروتئین دانه برنج (۰/۰۲۱ تا ۰/۰۲۴ درصد) شد، بنابراین به نظر می‌رسد که کاهش کیفیت برنج سفید در شرایط خوابیدگی بوته احتمالاً به‌دلیل تغییرات بیوشیمیایی در گیاه است. تفاوت در ترکیبات گیاه می‌تواند مربوط به بازیابی از خوابیدگی بوته باشد. خوابیدگی بوته احتمالاً باعث اختلال در متابولیسم و در نتیجه وقوع تنش اکسیداتیو در گیاه می‌شود. گزارش شده است که در اثر خوابیدگی بوته، محتوای ترکیبات استروئیدی از جمله استیگماسترول و بتاسیتوسترول افزایش می‌یابد (Dulbari *et al.*, 2017).

خوابیدگی بوته ممکن است بر پایداری غشاهای سلولی نیز اثر بگذارد (Dulbari *et al.*, 2017). به گزارش دیاس و همکاران (Dias *et al.*, 2010)، تنش‌های غیرزیستی باعث کاهش پایداری غشای پلاسمایی می‌شوند. با توجه به اینکه پایداری غشاء بر تبادلات آبی و فشار اسمزی سلول تأثیر دارد، وجود ترکیبات استروئیدی مانند استیگماسترول و بتاسیتوسترول برای حفظ پایداری غشاء مهم محسوب می‌شود. به گزارش سنتیل-کومار و همکاران (Senthil-Kumar *et al.*, 2013)، استیگماسترول و بتاسیتوسترول باعث بهبود ویژگی‌های سیالیت پلاسمای غشایی و سایر اندامک‌های غشایی می‌شوند. نقش دیگر ترکیبات استروئیدی مربوط به فرآیندهای متابولیک و مسیرهای انتقال پیام است که بر رونویسی بیان ژن مسئول پاسخ به تنش تأثیر می‌گذارند، بنابراین افزایش محتوای استیگماسترول و سیتوسترول در شرایط خوابیدگی بوته یک سازوکار بازیابی برای کاهش آسیب ناشی از تنش اکسیداتیو است (Dulbari *et al.*, 2017).

عطر برنج

ویژگی‌های حسی دانه برنج شامل سختی دانه پس از پخت، رنگ، طعم، مزه و عطر هستند. این ویژگی‌ها توسط ارزیابان با نمره مشخص می‌شوند. در میان ویژگی‌های حسی، عطر از ویژگی‌های مهم و مورد علاقه مصرف‌کنندگان برنج در جهان است. ترکیب‌های

متعددی با مقادیر کم در عطر دانه‌های برنج خام و حتی در برگ‌های گیاه در مراحل پایانی رشد، مشارکت دارند (Bounphanousay *et al*., 2008). ترکیبات فرّاری مانند ۲-استیل ۱-پیرولین (2AP)، لیمونین، پنتادکان، هگزادکان، هپتادکان، دودکان و هگزانول بعنوان منشاء عطر در دانه برنج پخته شده گزارش شده‌اند (Singh *et al*., 2000). تاکنون ۱۱۴ ترکیب فرّار بعنوان عوامل ایجاد عطر در دانه برنج تشخیص داده شده‌اند که از میان آنها ۲-استیل- ۱-پیرولین (2AP) به عنوان ترکیب اصلی عطر مورد تایید محققان قرار گرفته است. این ترکیب در کلیه قسمت‌های بوته برنج‌های معطر، به‌جز ریشه‌ها، شناسایی شده و مشخص شده که میزان آن در قسمت هوایی بوته نسبت به دانه‌های تبدیل شده، بالاتر است (Chen *et al*., 2006). ارزیابی دقیق عطر و گزینش با استفاده از روش‌های سنتی بهبود کیفیت، به‌دلیل نبود گروه‌های فنوتیپی مجزا در نتاج، حساسیت و تکرارپذیری پایین و خسته‌کننده بودن روش‌های آزمون کیفیت، برای به‌نژادگران مشکل است. برای ارزیابی عطر برنج روش‌های مختلفی مانند جویدن یک دانه و یا تعدادی دانه از چند تک بوته، حرارت دادن بافت برگ در آب، غوطه‌ور کردن برگ در محلول هیدروکسید پتاسیم، ارزیابی بویایی عطر متصاعد شده از دانه‌های پخته یا خام (Wilkie *et al*., 2004)، ارزیابی واکنش‌های بافتی- شیمیایی (Nadaf *et al*., 2006) و ارزیابی ترکیبات فرار با استفاده از کروماتوگرافی گازی و یا کروماتوگرافی گازی جفت شده با طیف‌سنج جرمی (GC-MS) (Ghiasvand *et al*., 2007) استفاده می‌شود. در روش سنتی و رایج، یک گروه چند نفره با چشیدن طعم دانه‌ها، بوئیدن بافت برگ یا دانه‌هایی که در آب حرارت داده شده و یا با محلول هیدروکسید پتاسیم یا یدید پتاسیم تیمار می‌شوند، عطری بودن و یا غیرعطری بودن ژنوتیپ‌های برنج را شناسایی می‌کنند. این روش که نیاز به استفاده از چند فرد خبره برای بوییدن دارد، فراتر از ماهیت ذهنی آن، معایبی چون سلیقه‌ای بودن و اشباع شدن حس بویایی فرد آزمون کننده بر اثر بوییدن نمونه‌های زیاد دارد (Karami *et al*., 2014). روش‌های قدیمی استخراج و جداسازی عطر، طعم و بو مانند استخراج مایع- مایع (LLE) وقت‌گیر، چندمرحله‌ای و گران‌قیمت بوده و علاوه بر لزوم استفاده از حلال‌های سمی خطرناک و مضر برای محیط زیست، خطراتی نیز برای آزمایش‌گر به همراه دارند. بهترین جایگزین برای این شیوه‌های متداول، روش‌های عاری از حلال هستند. روش ریزاستخراج فاز جامد (Solid phase micro-extraction; SPME) یک روش کارآمد، حساس، ارزان و عاری از حلال است که در آن با استفاده از حداقل مقدار نمونه (در حد چند میلی‌گرم) و با کم‌ترین دستکاری فیزیکی و شیمیایی در بافت نمونه (افزودن کمی آب به چند عدد دانه برنج سالم)، استخراج و اندازه‌گیری ترکیبات عطری انجام می‌شود (Amiri Fahliyani *et al*., 2013). ادغام دو روش SPME و GC-MS، باعث چند برابر شدن کارآیی آنها در جداسازی و اندازه‌گیری ترکیبات فرّار در برنج می‌شود (Ghiasvand *et al*., 2007). از سایر روش‌های شناسایی ژنوتیپ‌های معطر در برنج می‌توان به روش گزینش به کمک نشانگرها (Marker Assisted Selection: MAS) اشاره کرد. گزینش به کمک نشانگرها علاوه بر مزیت علمی بودن، سریع و دقیق بوده و امکان ارزیابی تعداد زیادی نمونه را به‌دور از تأثیر عوامل محیطی در برنامه‌های به‌نژادی فراهم می‌کند (Jin *et al*., 2010).

ساختار ژنتیکی عوامل مؤثر بر عطر برنج

نتایج تحقیقات نشان داده است که یک ژن مغلوب (*fgr*) روی کروموزوم ۸ در کنترل عطر برنج تأثیرگذار است (Bourgis *et al*., 2008). لانگ و بو (Lang and Buu, 2008) گزارش دادند که نشانگرهای RG28 و RM223 پیوستگی قوی با ژن *fgr* در برنج دارند. جین و همکاران (Jin *et al*., 2010) گزارش

کردنـد کـه بـر اسـاس یـک حـذف ۸ جفـت بـازی در ژن بتـائین آلدهیـد دهیـدروژناز (*Badh2*) روی کرومـوزوم ۸، می‌تـوان ژنوتیپ‌هـای معطـر را از ژنوتیپ‌هـای غیرمعطـر بـرنج تشـخیص داد. کرمـی و همکاران (Karami *et al.*, 2014) گزارش کردند کـه از نشـانگر SSR4463-L413 می‌تـوان بـرای تشـخیص ژنوتیپ‌های معطر در ارقام برنج ایرانی استفاده کرد.

موسـوی و همکـاران (Mousavi *et al.*, 2014) وضعیت ترکیب معطر 2AP حاضـر ۲۰ رقـم بـرنج را از نظر وجود ترکیب 2APمورد ارزیابی قـرار داده و اظهـار داشتند که ارقام شمیم ممسنی، چمپای یاسـوج، چمپـای لـوداب، دمسـیاه، کـامفیروز، دولار، هاشـمی، عنبربـو، موسـی طـارم، سـالاری، طـارم محلـی، ۳۰۴، لنجـان و حسن‌سرایی در گـروه برنج‌هـای معطـر و ارقـام غریـب، آمل ۳، خزر، نعمت، شفق ممسنی، و شـهری لـوداب در گروه برنج‌های غیرمعطر قرار دارند.

اثر عوامل محیطی بر عطر برنج

اگرچه عطر و طعم برنج تا حـد زیـادی تـابع عوامـل ژنتیکی است، دمای هوا در هنگام رسیدگی نیز بـر عطـر و طعم برنج مؤثر اسـت. در صـورتی کـه دمـای هـوا در مرحله رسـیدگی در دامنـه زیـر ۲۶ درجـه سـانتی‌گراد و نزدیک به آن باشد، کیفیت فیزیکی و شیمیایی برنج نیـز بهتر خواهد شد. بین محتوای پروتئین دانه برنج و خـوش طعـم بـودن آن، صـرف نظـر از دمـای هـوا در هنگـام رسیدگی، رابطه منفی وجود دارد، امّا هیچ ارتبـاطی بـین دمای بالاتر از ۲۶ درجه سانتی‌گراد و محتـوای پـروتئین برنج مشاهده نمی‌شـود. در دمـای دامنـه زیـر ۲۶ درجـه سانتی‌گراد، محتوای آمیلـوز دانـه بـا خـوش طعـم بـودن همبستگی منفی داشته، اما در دمـای بـالاتر از ۲۶ درجـه سانتی‌گراد، ارتباطی بین محتوای آمیلـوز و خـوش طعـم بودن دانه مشاهده نمی‌شود. بدین ترتیب محتوای آمیلوز دانه نیز باعث کاهش خوش طعمی ناشی از دمای بـالای هـوا نمی‌شـود (Morita *et al.*, 2016). نشاسـته، بـه ویـژه آمیلـوز، مسـتعد تعامـل بـا ترکیبـات معطر دانـه اسـت. گرانول‌های نشاسته این قابلیت را دارند که مولکول‌هـای مختلـف را در خـود بـه دام بیاندازنـد. کمپلکس‌هـای رایحه‌ای نشاسـته‌ای می‌تواننـد حـبس رایحـه را افـزایش داده، ترکیبـات رایحـه‌ای را در خـود نگـه داشـته و در انتشـار و درک رایحـه اثـر بگذارنـد (Ma *et al.*, 2019). در یک آزمایش اثـر دمـا بـر بیـان ژن *badh2*، محتـوای 2AP و نمره رایحه فنوتیپی در سه دمـای (۲۸/۲۹، ۲۵ و ۲۰ درجـه سـانتی‌گراد) در پـنج ژنوتیـپ بـرنج معطـر و یـک ژنوتیـپ غیرمعطـر مـورد ارزیـابی قـرار گرفـت (Prodhan *et al.*, 2017). نتـایج نشـان داد کـه دمـای ۲۵ درجـه سـانتی‌گراد باعـث حـداکثر بیـان ژن *badh2*، بالاترین میزان 2AP و نمره عالی عطر فنـوتیپی شـد کـه نشان دهنده عملکرد دما بـر تنظیم بیـان عطـر و کیفیـت نهایی بـرنج اسـت. محتـوای 2AP در بـرنج قهـوه‌ای کـه دوره رسیدگی آن در دمای پایین (۲۵ درجه سانتی‌گراد در روز و ۲۰ درجه سانتی‌گراد در شب) نسبت به دمـای بـالا (۳۵ درجـه سـانتی‌گراد در روز و ۳۰ درجـه سانتی‌گراد در شب) طـی شـده بـود، بـالاتر بـود. دمـای پایین هوا بیان ژن *badh2* مغلوب را افزایش داده و باعث تجمع 2AP شد و از این رو برای کاشت بـرنج معطـر بـا کیفیت بالا مناسب‌تر است.

بر اساس یک تصور قـدیمی تـنش شـوری بـر عطـر برنج اثر مثبت داشته دارد و برخی از انواع محبوب بـرنج معطر به طور سنتی در مناطقی با خاک شور یا نفـوذ آب شور از دریا کشت می‌شدند. افـزایش محتـوای 2AP در شرایط تنش شوری در ارقام بـرنج معطـر مشـاهده شـده است. با این حال، این افزایش عطر، به جای اثـر مسـتقیم تنش شوری در بیوسنتز 2AP، به اصلاح برخی از اجزای عملکـرد و ویژگی‌هـای فیزیکـی دانـه نسبت داده شـده است. بـه‌علاوه اظهـار شـده اسـت کـه تـنش شـوری بـر محتـوای 2AP و عطـر دانـه بـرنج اثـر نـاچیزی دارد (Fitzgerald *et al.*, 2008). متنـاقض بـودن ایـن نتـایج ممکن است به‌دلیل پاسخ متفاوت عطر بـه تـنش شـوری در ارقـام مختلـف بـرنج باشـد. مصـرف منگنـز روی

محتوای 2AP اثر مثبت دارد که این موضوع احتمالاً به‌دلیل بهبود فعالیت آنزیم‌هایی است که در تشکیل 2AP نقش دارند. بالا بودن محتوای نیتروژن کل خاک نیز باعث افزایش محتوای ۱پرولین (یکی از پیش‌سازهای 2AP) می‌شود (Hu *et al.*, 2020). گزارش شده است که محتوای سیلیسیوم برگ‌ها در مرحله گلدهی نیز با محتوای 2AP دانه ارتباط مثبت دارد (Mo *et al.*, 2017).

هاشمی و همکاران (Hashemi *et al.*, 2020) گزارش دادند که مدت انبارداری و فرآیند تبدیل از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر عطر برنج طارم می‌باشند. آن‌ها در یک آزمایش اثر فرآیند تبدیل و انبارداری بر پایداری عطر برنج طارم را ارزیابی کرده و گزارش دادند که محتوای نسبی مواد مؤثر بر عطر در برنج قهوه‌ای تازه برداشت شده نسبت به برنج قهوه‌ای انبار شده بیشتر بود، لیکن محتوای نسبی مواد معطر مهم مانند متیل اکتادیکادینول در برنج قهوه‌ای انبارشده بیشتر از برنج قهوه‌ای تازه برداشت شده بود. میزان مواد شناسایی شده در برنج سفید انبارشده بیشتر از برنج سفید تازه برداشت شده بود، اما برنج سفید تازه برداشت شده نسبت به برنج سفید انبار شده، مقدار بیشتری از مواد مؤثر در عطر را داشتند. آن‌ها گزارش کردند که انبار کردن برنج معطر علاوه بر افزایش هزینه تمام شده محصول، باعث کاهش مقدار مواد مؤثر در عطر شامل آلدهیدها و فتالات، اولئیک اسید و متیل اکتادیکادینول که شاخص‌های مهم در ارزیابی کیفیت برنج هستند، می‌شود، بنابراین نگهداری برنج معطر بصورت قهوه‌ای برای حفظ کیفیت آن پیشنهاد شد.

ارزش غذایی برنج

نشاسته اصلی‌ترین ماده غذایی و عامل اصلی تعیین کننده کیفیت غذایی برنج است. قابلیت هضم نشاسته برنج با اندازه‌گیری افزایش سطح گلوکز خون در انسان با مصرف یک ماده غذایی حاوی ۵۰ گرم کربوهیدرات در دسترس در مقایسه با محلول استاندارد حاوی ۵۰ گرم گلوکز اندازه‌گیری شده (Wolever, 2006) و با عنوان شاخص گلیسمیک (GI) گزارش می‌شود. سایر عناصر غذایی مهم دانه برنج شامل پروتئین‌های ذخیره‌ای (۷ درصد)، چربی‌های ذخیره‌ای (کمتر از یک درصد) و پلی‌ساکاریدهای غیر نشاسته‌ای (به مقدار اندک) هستند. این عناصر علیرغم سهم اندکی که در ترکیبات دانه برنج دارند، اثر قابل توجهی بر کیفیت تغذیه‌ای، صفات حسی و خواص کارکردی آن دارند (Butardo and Sreenivasulu, 2016). برای تعیین میزان پروتئین کل دانه از روش کجلدال (با تغییرات) (روش AACCI 46-13.01) به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. لیپیدهای دانه برنج نقش تغذیه‌ای و کارکردی دارند. لیپیدها از بدن در مقابل بیماری‌های قلبی عروقی و سرطان محافظت کرده و بر ویژگی‌های چسبندگی دانه نیز اثر می‌گذارند. برای تعیین انواع اسیدهای چرب لایه سبوس، از روش کروماتوگرافی مایع گازی (GLC) استفاده می‌شود. پلی‌ساکاریدهای غیر نشاسته‌ای در سبوس متمرکز شده و فقط مقدار کمی از آنها در دانه‌های برنج سفید شده قابل شناسایی هستند، اما به‌دلیل ترکیب منحصر به فرد آن‌ها در مقایسه با سایر غلات، از اهمیت غذایی بالایی برخوردار هستند (Shah *et al.*, 2020).

مواد معدنی، ویتامین‌ها و سایر مواد فیتوشیمیایی نیز در لایه سبوس متمرکز شده و در دانه برنج سفید یا وجود ندارند و یا مقدار آنها بسیار اندک است. محتوای آهن و روی در دانه برنج بسیار کم و مقداری از آن‌ها در طی فرآیند تبدیل از بین می‌روند. افزایش ناچیز این عناصر در دانه برنج باعث افزایش قابل توجه کیفیت و بهبود ارزش غذایی برنج برای صدها میلیون نفر از افرادی که تغذیه آنها وابسته به برنج است خواهد شد. بهبود ارزش غذایی دانه برنج یک ضرورت اساسی در برنامه‌های به‌نژادی برنج برای ارتقای کیفیت غذایی مورد تاکید است. این موضوع با ارزیابی ژرم‌پلاسم برنج از نظر محتوای ریزمغذی‌ها و توسعه دانش در

مورد الگوی وراثت آن‌ها برای استفاده در برنامه‌های به‌نژادی حاصل خواهد شد. ریزمغذی‌ها با استفاده از طیف‌سنجی جذب اتمی (AAS)، طیف‌سنجی فلورسانس اشعه ایکس (XRF)، طیف‌سنجی جرمی پلاسما به روش القایی (ICP-MS)، طیف‌سنجی تجزیه لیزری (LIBS) و طیف‌سنجی انتشار پلاسما – نوری (ICP-OES) قابل شناسایی و قابل تعیین هستند (Hansen *et al.*, 2009).

ساختار ژنتیکی ارزش غذایی برنج

شریفی (Sharifi, 2013) در آزمایشی با هدف بررسی اثر سیتوپلاسمی و مادری دانه و آندوسپرم بر صفات مرتبط با ارزش غذایی دانه برنج با استفاده از تلاقی دای‌آلل هفت ژنوتیپ برنج گزارش نمود که محتوای پروتئین و مواد معدنی دانه به وسیله اثرات مادری و سیتوپلاسمی دانه و آندوسپرم کنترل می‌شوند. شریفی و اسلامی (Sharifi and Eslami, 2012) گزارش نمودند که میزان پروتئین و آهن دانه برنج تحت کنترل غیرافزایشی و میزان عنصر روی تحت کنترل افزایشی و غیرافزایشی ژن می‌باشند. آنها پیشنهاد کردند که برای بهبود این صفات می‌توان از روش‌های به‌نژادی مبتنی بر هیبرید و هتروزیس استفاده کرد. باقری و همکاران (Bagheri *et al.*, 2020) با ارزیابی اجزای واریانس ژنتیکی برای ویژگی‌های ارزش غذایی (فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنول، عناصر آهن و روی و پروتئین‌ها) در ۲۴ هیبرید حاصل از تلاقی شش لاین در چهار تستر برنج گزارش کردند که وراثت‌پذیری این ویژگی‌ها توسط اثرات غیرافزایشی ژن‌ها کنترل می‌شود.

اثر عوامل محیطی بر ارزش غذایی برنج

پانده و همکاران (Pandey *et al.*, 2014) گزارش کردند که با کاهش محتوای رطوبت خاک، میزان پروتئین برنج قهوه‌ای به طور قابل توجهی افزایش و محتوای آمیلوز دانه کاهش می‌یابد. کیان حسینی و همکاران (Kayan Hosseini *et al.*, 2019) گزارش کردند که مصرف کود اوره با پوشش گوگردی باعث افزایش محتوای پروتئین دانه برنج شد. آنها گزارش کردند که آزادسازی تدریجی نیتروژن باعث فراهمی این عنصر در طول فصل رشد گیاه شده و باعث افزایش محتوای پروتئین دانه گردید. گزارش شده است که مصرف کودهای حاوی سیلیس همراه با افزایش مصرف کود نیتروژن باعث افزایش محتوای پروتئین دانه برنج می‌شود (Ranganathan *et al.*, 2006).

نتیجه‌گیری

کیفیت برنج یک عامل مهم در ارزش برنج بوده و اصلاح و معرفی ارقام خوش کیفیت یکی از مهم‌ترین اهداف به‌نژادی برنج در ایران است که در دو دهه اخیر توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده است. در ایران، ارقامی که دامنه متوسطی از هر سه ویژگی میزان آمیلوز، درجه حرارت ژلاتینی شدن و میزان ثبات یا قوام ژل را داشته باشند، به عنوان ارقامی با کیفیت پخت مطلوب محسوب می‌شوند، اما ارقامی وجود دارند که با وجود تشابه در این ویژگی‌ها دارای کیفیت پخت و خوراک متفاوتی هستند. این تفاوت‌ها با استفاده از منحنی خصوصیات چسبندگی قابل شناسایی است، بنابراین استفاده از منحنی خصوصیات چسبندگی نشاسته یکی از ابزارهای کارآمد جهت تمایز ارقام کیفی برنج، قابل توصیه است. ویژگی‌های مرتبط با کیفیت ظاهری دانه برنج تحت تأثیر اثرات افزایشی و غیرافزایشی هستند، بنابراین گزینش به منظور افزایش ژن‌های مطلوب در این صفات مفید است. جهت بهره‌گیری از اثر غالبیت ژن‌های کنترل کننده ویژگی‌های مرتبط با کیفیت ظاهری می‌توان از پدیده هتروزیس نیز استفاده کرد. به‌علاوه اصلاح ارقام متحمل به تنش‌های غیرزیستی که بر ویژگی‌های کیفی دانه اثر می‌گذارند، باعث افزایش و ثبات کیفیت محصول تولیدی در محیط‌های مختلف خواهد شد. نتایج تحقیقات نشان داده است که محتوای آمیلوز دانه برنج تحت تأثیر غالبیت ژن‌ها قرار دارد، اما

در به‌نژادی برای محتوای آمیلوز دانه برنج توجه بـه ایـن نکته ضروری است که صرف افزایش یا کاهش محتوای آمیلوز هدف اصلی نیست، زیرا ویژگی‌های کیفی مورد پسند مصرف‌کنندگان دارای حد بهینه‌ای هستند که باید مورد توجه محققان قرار گیرد. با توجه به اهمیت غالبیت در کنتـرل ژنتیکـی محتـوای آمیلـوز دانـه، می‌تـوان از گزینش در نسل‌های پیشرفته و همچنین پدیده هتروزیس جهـت بهبـود ایـن ویژگـی اسـتفاده کـرد. روش‌هـای مدیریت زراعی که باعث افـزایش میـزان انتقـال مجـدد مواد فتوسنتزی به دانه‌ها می‌شوند، برای کاهش خسارات تنش‌های محیطی در زمان پر شدن دانه برنج مؤثر هستند. کیفیت برنج توسط برهمکنش ژن‌هـای متعـددی کنتـرل می‌شود که به شدت تحت تأثیر محیط هستند. پیش‌بینـی کیفیت دانه نیاز به اطلاع از ارتباط اطلاعـات ژنتیکـی بـا فنوتیپ‌های مطلوب کیفـی دانـه در محیط‌هـای مختلـف دارد. با وجود ارتباط منفی بین عملکرد و کیفیت دانه در بـرنج، انجـام تلاقی‌هـای هدفمنـد بـه‌منظور انتقـال ویژگی‌های کیفی ارقام محلی بـه ارقـام اصـلاح شـده از جمله راهکارهای امیدبخش در بهبود خصوصیات کیفی برنج است. معرفی برنج رقم گیلانه با عملکرد قابل‌قبول و کیفیت پخـت مطلـوب، حاصـل چنـین هدف‌گـذاری است که رابطه منفی بین کمیت و کیفیت برنج در ایـران را تعدیل کرده است. در فرآیند به‌نژادی برای دستیابی به ارقام با کیفیت برتر، به‌ویژه در جعیت‌های اصلاحی کـه نیاز به گزینش تک بوته است، این احتمـال وجـود دارد که بسیاری از بوته‌های با کیفیت دانه برتر، بـه‌دلیل عـدم شناسایی گزینش نشـده و طـی مراحـل بـه‌نژادی حـذف شـوند، بنـابراین اسـتفاده از روش‌هـای پیشـرفته بـرای پیش‌بینی و ارزیابی محتوای آمیلوز دانه ضـروری اسـت. برای اجتناب از این مشکل می‌توان از روش‌هـایی ماننـد فنـاوری سـنجش فـوق طیفـی، تیتراسـیون آمپومتریـک، انعکاس مادون قرمز نزدیک و واکنش زنجیره‌ای پلیمراز استفاده کرد. در این میـان، روش انعکـاس مـادون قرمـز نزدیک به‌دلیل مزایای آن نسبت به سایر روش‌هـا، یکـی از راهکارهای امیدبخش است که با توجـه بـه ضـرورت به‌نژادی ارقام برنج با کیفیت دانه برتر، توسعه و کـاربرد آن بیش از پیش ضرورت دارد.

منابع مورد استفاده

References

Aboubacar, A., K. A. Moldenhauer, A. M. McClung, D. H. Beighley and B. R. Hamaker. 2006. Effect of growth location in the United States on amylose content, amylopectin fine structure and thermal properties of starches of long grain rice cultivars. Cereal Chem. 83(1): 93-98.

Allahgholipour, M. and B. Rabiei. 2016. Identification of heterotic combinations for paste viscosity properties of rice grain using GGE biplot method. Cereal Res. 6(3): 367-383. (In Persian with English Abstract).

Allahgholipour, M. and M. Hossieni Chaleshtori. 2020. Participatory breeding, an approach for sustainable production of new rice cultivars in Iran. Iran. J. Crop Sci. 22(2): 108-124. (In Persian with English Abstract).

Allahgholipour, M., A. Johar Ali, F. Alinia, T. Nagamine and Y. Kojima. 2006. Relationship between rice grain amylose and pasting properties for breeding better quality rice varieties. Plant Breed. 125: 357-362.

Allahgholipour, M., A. Moumeni, M. Nahvi, M. Yekta and S. Zarbafi. 2012. Identification of parental combinations for improvement of rice grain quality, yield and yield components in rice. Cereal Res. 1(1): 1-10. (In Persian with English Abstract)

Allahgholipour, M., B. Rabiei, A. A. Ebadi, M. Hosseini and M. Yekta 2010. Starch viscosity properties:

New criteria for assessment of cooking quality of rice (*Oryza sativa* L.) cultivatrs. Iran. J. Crop Sci. 12 (2): 140-151. (In Persian with English Abstract).

Amiri Fahliyani, R., M. Khodambashi and A. Ghiyasvand. 2013. Identification of rice aromatic compounds by Solid Phase Micro-Extraction method in GC-MS and mapping their controlling QTLs using microsatellite marker. Agric. Biotechnol. J. 5(3): 19-32.

Bagheri, N., R. Heydari, N. Babaeian Jelodar and H. Najafi Zarrini. 2020. Inheritance and heterosis some of traits related to nutritional value and physical quality of rice grain. J. Plant Prod. Sci. 27(1): 143-163. (In Persian with English Abstract).

Batey, I. L. and B. M. Curtin. 1996. Measurement of amylose/ amylopectin ratio by high performance liquid chromatography. Starch/Starke. 48: 338-344.

Bazrkar-Khatibani L., B. Fakheri, M. Hosseini-Chaloshtori and N. Mahdinejad. 2019. QTL analysis of traits related to rice (*Oryza sativa* L.) cooking and eating quality in a Recombinant Inbred Lines (RILs) population. Modern Genet. J. 214(1): 25-37. (In Persian with English Abstract).

BeMiller, J. N. 1964. Iodimetric determination of amylose: Amperometric titration. *In:* Methods in Carbohydrate Chemistry. Academic Press, NY. 165-168.

Bergman, C., J. T. Delgado, A. M. McClung and R. G. Fjellstrom. 2001. An improved method for using a microsatellite in the rice waxy gene to determine amylose class. Cereal Chem. 78: 257-260.

Bounphanousay, C., P. Jaisil, J. Sanitchon, M. Fitzgerald and N. R. Sackville Hamilton. 2008. Chemical and molecular characterization of fragrance in black glutinous rice from Lao PDR. Asian J. Plant Sci. 7: 1-7.

Bourgis, F., R. Guyot, H. Gherbi, E. Tailliez, I. Amabile, J. Salse, M. Lorieux, M. Delseny and A. Ghesquiere. 2008. Charactrization of the major fragrance gene from an aromatic Japonica rice and analysis of diversity in Asian cultivated rice. Theor. Appl. Genet. 117: 353- 368.

Butardo Jr, V. M. and N. Sreenivasulu. 2016. Tailoring grain storage reserves for a healthier rice diet and its comparative status with other cereals. Int. Rev. Cell Mol. Biol. 323: 31-70.

Butardo, V. M., N. Sreenivasulu and B. O. Juliano. 2019. Improving Rice Grain Quality: State of the-Art and Future Prospects. In: Sreenivasulu, N. (Ed.) Rice Grain Quality. Methods in Molecular Biology, vol 1892. Humana Press, New York, USA.

Cagampang, G. B., C. M. Perez and B. O. Juliano. 1973. A gel consistency test for eating quality of rice. J. Sci. Food Agric. 24(12): 1589-1594.

Cai, Y., W. Wang, Z. Zhu, Z. Zhang, Y. Lang and Q. Zhu. 2006. Effects of water stress during grain-filling period on rice grain yield and its quality under different nitrogen levels. J. Appl. Ecol. 17(7): 1201-1206.

Cao, Z., P. A. N. Gang, F. B. Wang, K. S. Wei, Z. W. Li, C. H. Shi and F. M. Cheng. 2015. Effect of high temperature on the expressions of genes encoding starch synthesis enzymes in developing rice endosperms. J. Integ. Agric. 14(4): 642-659.

Chen, M. H., C. Bergman, S. Pinson and R. Fjellstrom. 2008. Waxy gene haplotypes: Associations with apparent amylose content and the effect by the environment in an international rice germplasm collection. J. Cereal Sci. 47(3): 536-545.

Chen, S., J. Wu, Y. Yang, W. Shi and M. Xu. 2006. The *fgr* gene responsible for fragrance was restricted within 69 kb. Plant Sci. 171: 505-514.

Chen, Y. L. and J. S. Bao. 2017. Progress in structures, functions and interactions of starch synthesis related enzymes in rice endosperm. Chin. J. Rice Sci. 31(1): 1-12. (In Chinese with English abstract).

Cheng, C., Y. J. Zeng, H. H. Chen, X. M. Tan, Q. Y. Shan, Y. H. Zeng and Q. H. Shi. 2019. Effects of different temperature from full heading to milking on grain filling stage on grain hormones concentrations, activities of enzymes involved in starch synthesis and accumulation in rice Nanjing 9108. Chin. J. Rice Sci. 33(1): 57-67. (In Chinese with English abstract).

Cooper, N. T. W., T. J. Siebenmorgen and P. A. Counce. 2008. Effects of nighttime temperature during kernel development on rice physicochemical properties. Cereal Chem. 85(3): 276-282.

Cruz, N. D. and G. S. Khush. 2000. Rice grain quality evaluation procedures. Aromatic Rices, 3: 15-28.

Delwiche, S. R., M. M. Bean, R. E. Miller, B. D. Webb and P. C. Williams. 1995. Apparent amylose content of milled rice by near infrared reflectance spectrophotometry. Cereal Chem. 72: 82-188.

Dias, A. S., M. G. Barreiro, P. S. Campos, J. C. Ramalho and F. C. Lidon. 2010. Wheat cellular membrane thermotolerance under heat stress. J. Agron. Crop Sci. 196(2): 100-108.

Dulbari, D., E. Santosa, Y. Koesmaryono and E. Sulistyono. 2017. Status of rice biochemical composition under lodging treatment. J. Trop. Crop Sci. 4(3): 77-85.

Fan, C., Y. Xing, H. Mao, T. Lu, B. Han, C. Xu, X. Li, and Q. Zhang. 2006. *GS3*, a major QTL for grain length and weight and minor QTL for grain width and thickness in rice, encodes a putative transmembrane protein. Theor. Appl. Genet. 112(6): 1164-1171.

FAOSTAT. 2019. Production Statistics. http://faostat.fao.org/

Fazeli Burestan, N., A. Afkari Sayyah, E. Taghinezhad and M. Safi. 2019. Prediction of some chemical and physicochemical properties of white rice grain samples using near-infrared spectroscopy (NIRS) analysis. Innov. Food Technol. 7(1): 85-95. (In Persian with English Abstract).

Fitzgerald, M. A., C. J. Bergman, A. P. Ressurreccion, J. Moller, R. Jimenez, R. F. Reinke, M. Martin, P. Blanco, F. Molina, M. Chen, V. Kuri, M. V. Romero, F. Habibi, T. Umemoto, S. Jongdee, E. Graterol, K. R. Reddy, P. Z. Bassinello, R. Sivakami, N. S. Rani, S. Das, Y. Wang, S. D. Indrasari, A. Ramli, R. Ahmad, S. S. Dipti, L. Xie, N. T. Lang, P. Singh, D. C. Toro, F. Tavasoli and C. Mestres. 2009. Addressing the dilemmas of measuring amylose in rice. Cereal Chem. 86(5): 492-498.

Fitzgerald, M. A., S. R. McCouch and R. D. Hall. 2009. Not just a grain of rice: the quest for quality. Trends Plant Sci. 14(3): 133-139.

Fitzgerald, T. L., D. L. E. Waters and R. J. Henry. 2008. The effect of salt on betaine aldehyde dehydrogenase transcript levels and 2-acetyl-1-pyrroline concentration in fragrant and non-fragrant rice (*Oryza sativa*). Plant Sci. 175(4): 539-546.

Ghiasvand, A. R., L. Setkova and J. Pawliszyn. 2007. Determination of flavour profile in Iranian fragrant rice samples using cold-fiber SPME–GC–TOF–MS. Flavour Fragr. J. 22: 377-391.

Gilbert, R. G., T. Witt and J. Hasjim. 2013. What is being learned about starch properties from multiple-level characterization? Cereal Chem. 90(4): 312-325.

Habibi, F. 2013. Experimental methods for measuring quality characteristics in rice grain. Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rice Research Institute of Iran press. (In Persian with English abstract).

Hansen, T. H., K. H. Laursen, D. P. Persson, P. Pedas, S. Husted and J. K. Schjoerring. 2009. Micro-scaled high-throughput digestion of plant tissue samples for multi-elemental analysis. Plant Methods, 5(1): 1-11.

Hashemi, S., A. Monfared and F. Solat. 2020. Investigation the effect of milling process and storage duration on the aroma components of Indica rice variety (Tarom) by SPME method. J. Food Process. Preserv. 12(1): 161-170. (In Persian with English Abstract).

Honjyo, K. 2008. Studies on protein content in rice grain: I. Variation of protein content between rice varieties and the influences of environmental factors on the protein content. Japan. J. Crop Sci. 40(2): 183-189.

Hu, X., L. Lu, Z. Guo and Z. Zhu. 2020. Volatile compounds, affecting factors and evaluation methods for rice aroma: A review. Trends Food Sci. Technol. 97: 136-146.

Hwang, T. J., W. J. Lee, J. C. Shin, C. W. Lee and S. S. Kim. 2009. Changes in the grain quality of rice with respect to the duration of lodging time. Food Sci. Biotechnol. 18(6): 1459-1463.

Ikehashi, H. and G. S. Khush. 1979. Methodology of assessing appearance of the rice grain, including chalkiness and whiteness. In Proc. of the Workshop on Chemical Aspects of Rice Grain Quality. 23-25 Oct. 1978. Los Banos, Philippines.

Isshiki, M., K. Morino, M. Nakajima, R. J. Okagaki, S. R. Wessler, T. Izawa and K. Shimamoto. 1998. A naturally occurring functional allele of the rice waxy locus has a GT to TT mutation at the 5′ splice site of the first intron. Plant J. 15(1): 133-138.

Jeon, J. S., N. Ryoo, T. R. Hahn, H. Walia and Y. Nakamura. 2010. Starch biosynthesis in cereal endosperm. Plant Physiol. Biochem. 48(6): 383-392.

Jin, L., Y. Lu, Y. Shao, G. Zhang, P. Xiao, S. Shen, H. Corke and J. Bao. 2010. Molecular marker assisted selection for improvement of eating, cooking and sensory quality of rice (*Oryza sativa* L.). J. Cereal Sci. 51: 159-164.

Juliano, B. O. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. Cereal Sci. Today. 16: 334-340.

Juliano, B. O. and A. P. P. Tuano. 2019. Gross structure and composition of the rice grain. In Rice (pp. 31-53).

AACC International Press.

Karami, N., A. Aalami, H. Samizadeh, M. Alahgholipour and B. Rabiei. 2014. Phenotypic and molecular evaluation of fragrance in Iranian rice genotypes. Iran. J. Crop Sci. 16(1): 12 -24. (In Persian with English Abstract).

Kayan Hosseini, L., M. Mojaddam and T. Babaei-Nejad. 2019. A comparison of urea and sulfur coated urea urea on quantitative and qualitative yield of rice (*Oryza sativa* L.) under different silica rate. J. Plant Prod. 9(1): 28-35. (In Persian with English abstract).

Kumar, I. and G. S. Khush. 1987. Genetic analysis of different amylose levels in rice. Crop Sci. 27(6): 1167-1172.

Lang, N. T. and B. C. Buu. 2008. Development of PCR-based markers for aroma (*fgr*) gene in rice (*Oryza sativa* L.). Omonrice. 16: 16-23.

Lang, Y. Z., X. D. Yang, M. E. Wang and Q. S. Zhu. 2012. Effects of lodging at different filling stages on rice yield and grain quality. Rice Sci. 19(4): 315-319.

Lin, C. J., C. Y. Li, S. K. Lin, F. H. Yang, J.J. Huang, Y. H. Liu and H. S. Lur. 2010. Influence of high temperature during grain filling on the accumulation of storage proteins and grain quality in rice (*Oryza sativa* L.). J. Agric. Food Chem. 58(19): 10545-10552.

Liu, J., J. Chen, X. Zheng, F. Wu, Q. Lin, Y. Heng and J. Wan. 2017. *GW5* acts in the brassinosteroid signalling pathway to regulate grain width and weight in rice. Nature Plants, 3(5): 1-7.

Ma, R., Y. Tian, H. Zhang, C. Cai, L. Chen and Z. Jin. 2019. Interactions between rice amylose and aroma compounds and their effect on rice fragrance release. Food Chem. 289: 603-608.

Mo, Z., S. Lei, U. Ashraf, I. Khan, Y. Li, S. Pan, M. Duan, H. Tian and X. Tang. 2017. Silicon fertilization modulates 2-acetyl-1-pyrroline content, yield formation and grain quality of aromatic rice. J. Cereal Sci. 75: 17-24.

Morita, S., H. Wada and Y. Matsue. 2016. Countermeasures for heat damage in rice grain quality under climate change. Plant Prod. Sci. 19(1): 1-11.

Mousavi, M., B. Hosseini and R. Amiri Fahliani. 2014. Aromatic material Acetyl Pyrroline status study in some commercial and local rice varieties in Iran. *In:* 1st International and 13th Iranian Crop Science Congress and 3rd Iranian Seed Science and Technology Conference. 26-28 Aug. 2014. Karaj, Iran. (In Persian with English abstract).

Nadaf, A. B., S. Krishnan and K. V. Wakte. 2006. Histochemical and biochemical analysis of major aroma compound (2-acetyl-1-pyrroline) in basmati and other scented rice (*Oryza sativa* L.). Curr. Sci. 91: 1533-1536.

Pandey, A., A. Kumar, D. S. Pandey and P. D. Thongbam. 2014. Rice quality under water stress. Indian J. Adv. Plant Res. 1(2): 23-26.

Prodhan, Z. H., G. Faruq, R. M. Taha and K. A. Rashid. 2017. Agronomic, transcriptomic and metabolomic

expression analysis of aroma gene (*badh2*) under different temperature regimes in rice. Int. J. Agric. Biol. 19(3): 569-576.

Rabiei, B., M. Valizadeh, B. Ghareyazie, M. Moghaddam and A. J. Ali. 2004. Identification of QTLs for rice grain size and shape of Iranian cultivars using SSR markers. Euphytica, 137(3): 325-332.

Rabiei, B., S. Zarbafi and M. Allahgholipour. 2013. Genetic analysis of appearance and cooking quality traits in different rice cultivars. Iran. J. Field Crop Sci. 44(4): 597-612. (In Persian with English Abstract).

Ranganathan, S., V. Suvarchala, Y. Rajesh, M. Prasad, A. Padmakumari and S. Voleti. 2006. Effects of silicon sources on its deposition, chlorophyll content, and disease and pest resistance in rice. Biol. Plant. 50: 713-716.

Sacks, W. J., D. Deryng, J. A. Foley and N. Ramankutty. 2010. Crop planting dates: an analysis of global patterns. Glob. Ecol. Biogeo. 19(5): 607-620.

Senthil-Kumar, M., K. Wang and K. S. Mysore. 2013. AtCYP710A1 gene-mediated stigmasterol production plays a role in imparting temperature stress tolerance in *Arabidopsis thaliana*. Plant Signal. Behav. 8(2): e23142.

Shah, F., Z. Khan, A. Iqbal, M. Turan and M. Olgun. 2020. Recent Advances in Grain Crops Research. Intech Open Publications. London, UK.

Sharfi, P. and A. Eslami. 2012. Genetic effects of some nutrient quality traits in rice. Seed Palnt Improv. J. 28-1: 3. 445-461. (in Persian with English abstract).

Sharifi, P. 2013. Genetic analysis of nutritional quality traits in milled kernels of hybrid rice based on the additive-dominance model. J. Trop. Agric. Food Sci. 41: 193-203.

Sharifi, P., H. Dehghani, A. Momeni and M. Moghadam. 2010. Estimation of genetic parameters for some cooking quality related traits in rice using diallel analysis. Iran. J. Field Crop Sci. 12(2): 152-169. (In Persian with English abstract).

Singh, R. K., U. S. Singh and G. S. Khush. 2000. Aromatic rice. Oxford and IBH publishing Co. PVT. Ltd., New Delhi. India.

Smith, A. M., K. Denyer and C. Martin. 1997. The synthesis of the starch granule. Annu. Rev. Plant Biol. 48(1): 67-87.

Takahashi, W., T. Ojima, M. Nomura and M. Nabeshima. 2002. Development of a model for predicting cracked rice kernel of rice cultivar “Koshihikari”. Hokuriku Crop Sci. 37: 48-51.

Takeda, Y., S. Hizukuri and B. O. Juliano. 1987. Structures of rice amylopectins with low and high affinities for iodine. Carbohydrates Res., 168: 79-88.

Tuncel, A. and T. W. Okita. 2013. Improving starch yield in cereals by over-expression of ADPglucose pyrophosphorylase: expectations and unanticipated outcomes. Plant Sci. 211: 52-60.

Tuncel, A., J. Kawaguchi, Y. Ihara, H. Matsusaka, A. Nishi, T. Nakamura, S. Kuhara, H. Hirakawa, Y.

Nakamura, B. Cakir, A. Nagamine, T. W. Okita, S. K. Hwang and H. Satoh. 2014. The rice endosperm ADP-glucose pyrophosphorylase large subunit is essential for optimal catalysis and allosteric regulation of the heterotetrameric enzyme. Plant Cell Physiol. 55(6): 1169-1183.

Vidal, V., B. Pons, J. Brunnschweiler, S. Handschin, X. Rouau and C. Mestres. 2007. Cooking behavior of rice in relation to kernel physicochemical and structural properties. J. Agric. Food Chem. 55(2): 336-346.

Wang, K., P. W. Wambugu, B. Zhang, A. C. Wu, R. J. Henry and R. G. Gilbert. 2015. The biosynthesis, structure and gelatinization properties of starches from wild and cultivated African rice species (*Oryza barthii* and *Oryza glaberrima*). Carbohydrate Polymer. 129: 92-100.

Wang, L. Q., W. J. Liu, Y. Xu, Y. Q. He, L. J. Luo, Y. Z. Xing, C. G. Xu and Q. Zhang. 2007. Genetic basis of 17 traits and viscosity parameters characterizing the eating and cooking quality of rice grain. Theor. Appl. Genet. 115(4): 463-476.

Wilkie K., M. Wootton and J. E. Paton. 2004. Sensory testing of Australian fragrant, imported fragrant and non-fragrant rice aroma. Int. J. Food Prop. 7: 27-36.

Wolever, T. M. 2006. The glycaemic index: a physiological classification of dietary carbohydrate. University of Toronto, Ontario, Canada.

Xia, N., H. W. Zhao, Y. C. Lv, Z.D. Zhao, D. T. Zou, H. L. Liu, J. G. Wang and Y. Jia. 2016. Effect of cold-water stress at grain-filling stage on starch accumulation and related enzyme activities in grains of japonica rice in cold-region. Chin. J. Rice Sci. 30(1): 62-74. (In Chinese with English abstract).

Xie, X. J., Y. H. Zhang, R. Y. Li, S. H. Shen and Y. X. Bao. 2019. Prediction model of rice crude protein content, amylose content and actual yield under high temperature stress based on hyper-spectral remote sensing. Quality Assur. Safe. Crops Foods. 11(6): 517-527.

Zhang, J., G. Li, Y. Song, Z. Liu, C. Yang, S. Tang and Y. Ding. 2014. Lodging resistance characteristics of high-yielding rice populations. Field Crops Res. 161: 64-74.

Rice grain quality: related properties and effective factors

Haghighi Hasanalideh, A.R.[1] and M. Allahgholipour[2]

ABSTRACT

Haghighi Hasanalideh. A. R. and M. Allahgholipour. 2022. Rice quality: related properties and effective factors. **Iranian Journal of Crop Sciences. 24(3): 196-220. (In Persian).**

Rice provides food for more than half of the world's population. Unlike other cereals used in the form of processed, rice is mostly consumed directly with removal of paddy and brown husks. Therefore, considering rice grain quality is one of the main factors in product marketability and consumption. Rice grain quality can be considerd and evaluated by assessment of four properties: physical, chemical, sensory and nutritional value. Physical properties such as grain shape, chalky grains, transparency and uniformity of grains. Grain size, chalkiness and color are important features that affect consumer choice. Grain cooking properties (chemical factors) mainly include apparent amylose content, gelatinization temperature, and gel consistency. Also, the viscosity properties of starch grains are considered as an important secondary difference in cultivars with similar amylose content. Sensory characteristics include aroma, grain hardness after cooking, color and taste which are important and favorite characteristics for rice consumers in the world. Major nutrients in rice include; starch, protein, fats, and non-starch polysaccharides. The key period for the formation of grain quality characteristics of rice is early and mid-grain filling stages. In addition to genetic factors, the cooking quality of rice is strongly influenced by environmental conditions, as the rice garin quality may vary from year to year or even from field to field. Rice grain quality prediction requires the association of genetic information with grain quality phenotypes in different environments. Despite the negative relationship between quality properties and grain yield in rice, targeted cross-breeding to transfer the quality related traits of local rice cultivars to improved commercial cultivars with reasonable levels of tolerance to environmental stresses as well as optimum crop management practices, are among the promising strategies for improving the rice grain quality.

Key words: Amylose content, Cooking quality, Gelatinization temperature, Nutritional value and Rice

Received: August, 2021 Accepted: September, 2022

1. Assistant Prof., Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran

2. Associate Prof., Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran (Corresponding author) (Email: haghighi.ag@gmail.com)